

惑星系における軌道の重力の影響と惑星の特徴

東塚 匠飛、三村 昊 (高2) 【兵庫県立姫路西高等学校】

要旨

惑星系の特徴について、その惑星系の持つ惑星の数や種類、また構成などによる重力的な影響の観点からとらえるための研究を行った。

1. 研究目的・意義

本研究はほとんど研究のなされていない、惑星系のパラメータ的な特徴からその惑星系にどのような種類の惑星がどれくらい存在しているのかについての研究を行う。本研究では、判明している情報から惑星が存在しているかどうかの判断を助け、新たな系外惑星発見の手掛かりになることを目指している。先行研究とこの研究にあたり実施した事前調査により判明している惑星軌道は主星の質量と関係している点(星野, 2022)やスーパーアースを含む惑星系は惑星保有数が多い点(平野, 2017)、ホットジュピターを含む惑星系は惑星保有数が少ない点(Jonathan, 2021)、3つ以上の惑星を持つ系において岩石惑星およびスーパーアースとガス惑星がともに存在していること系が少ないという計3点を考慮したうえで次の2つのリサーチクエスチョンを立てた。

- 惑星軌道は重力の影響によって決まるのではないか
- どのような特徴を持つときに岩石惑星、スーパーアース、ガス惑星が共に存在するのか

2. 研究方法

初めに本研究において惑星保有数をその惑星の属している惑星系内に存在している惑星の数と定義する。NASA Exoplanet Archiveが公開している複合データ4,896個(2022年10月13日現在)の系外惑星のデータを使用して分析を行った。各惑星のデータの内、軌道長半径と惑星質量についてそれぞれ常用対数を取りK-means法を用いたクラスタリング分析で3つのクラスに分類した。これに加えてNASAホームページで採用されているスーパーアースの定義に基づき $1R_E < R_p \leq 3.9R_E$ の惑星をスーパーアースと分類し、4つに分類した。研究手順としては、第一の研究として、スーパーアースの公転軌道について、目的変数を離心率、説明変数を軌道長半径、惑星半径、ヒル半径として重回帰分析を行った。2つ目の研究としては、3つの惑星を持つ系について、ガス惑星が存在する惑星系と存在しない惑星系それぞれについて含まれる惑星の特徴を調べた。

3. 結果・考察

表1:惑星保有数が2つの惑星を対象とした重回帰分析の結果

	係数	P-値	
切片	0.055	0.001	重相関 : 0.369 ^e 重決定 : 0.136 ^e 観測数 : 78 ^e
軌道長半径	-0.386	0.017	
ヒル半径	0	0.295	
惑星間の距離	0.496	0.014	

表1から、説明変数に挙げた3要素は公転軌道と関係があまりないことが分かった。

ガス惑星と岩石惑星またはスーパーアースが同一惑星系内に共存しているときその惑星系に存在するガス惑星は他のものよりも軌道長半径が大きく質量は大きくなった。また岩石惑星やスーパーアースの特徴として軌道長半径が小さく恒星の周りを高速で公転しているという特徴がみられた。

4. 結論及び今後の展望

結果よりスーパーアースについて相関関係はみられなかった。これは公転軌道に関して重力は、惑星の形成の段階での要因に比べ影響力が小さいからであると考えた。また、ガス惑星と岩石惑星やスーパーアースが共存している系は惑星が形成される段階で十分に惑星間の距離があったために重力的な安定性が惑星同士で脅かされなかったからであると考察した。今後はほかのパラメータでも検証していきたい。

5. 参考文献・引用文献

- NExSci(2022).NASA Exoplanet Archive. <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/> .2022/10/13
- Schulze-Makuch,D.(2011)Two-Tiered Approach to Assess the Habitability of Exoplanets. *Astrobiology* 11(10): 1041-1052
<https://academic.oup.com/mnras/advance-article-abstract/doi/10.1093/mnras/stac3756/6960582?redirectedFrom=fulltext>
- Jonathan J.Fortney,Rebekah I. Dawson, Thaddeus D. Komacek.(2021). Hot Jupiters: Origins, Structure, Atmospheres
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JE006629>
- Jonathan J.Fortney,and Christophe Sotin.(2013). Structure of exoplanets
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1304206111>
- 成田憲保 (2020) . 『地球は特別な惑星か?』 . 講談社
- 平野照幸 (2017) . 『太陽系外惑星探査 : 見えてきた多様性とその起源』 . 『日本物理学会誌』 , 72 (2) , 105-11
- 成田憲保 (2013) . 『観測による巨大惑星の軌道進化理論の検証』 . 『日本惑星科学会誌』 , 29 (4) , 242-251
- 井田茂, 渡部潤一 佐々木晶 (2021) 『太陽系と惑星 [第2版] シリーズ現代の天文学』
- 星野遥, 小久保栄一郎 (2022) . 『巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造: 恒星の質量依存性』 . 『王立天文学会』